

Water Recycling in Public Hospitals of Markazi Province of Iran Using the TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Method: Identification and Prioritization of Strategies

Abbas Jahangiri^{1*} 

¹ Research Expert, Water and Wastewater Company of Markazi Province, Arak, Iran

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Article

Article History:
Received: 17 Jul 2025
Revised: 9 Aug 2025
Accepted: 2 Nov 2025
ePublished: 15 Dec 2025

Keywords:
Water Recycling,
Hospital,
Multi-Criteria
Decision-Making,
TOPSIS

Abstract

Background. Given the water scarcity crisis and high water consumption in hospitals, it is crucial to identify and prioritize water recycling strategies in these facilities. This study aimed to identify the most appropriate water recycling strategies and prioritize them based on multiple criteria.

Methods. This descriptive-analytical study was conducted in the Spring of 2025, involving eight selected public hospitals with high water consumption in Markazi Province. Initially, through literature review, field visits, and semi-structured interviews with 17 experts in hospital water and wastewater management, potential recycling strategies and relevant evaluation criteria were identified. Qualitative data were analyzed using content analysis in MAXQDA 2022. In the quantitative phase, the criteria were weighted using the Shannon entropy method, and the alternatives were prioritized using the TOPSIS multi-criteria decision-making model. All calculations were performed using Microsoft Excel.

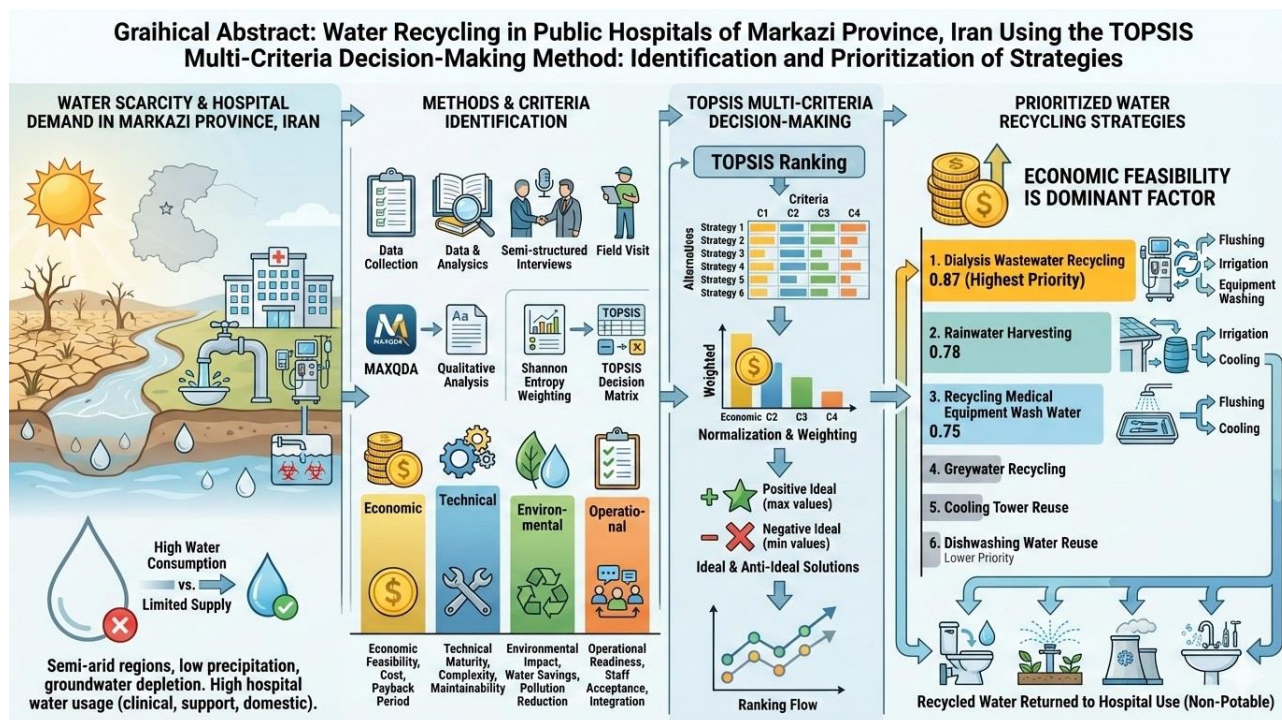
Results. Findings showed that recycling dialysis wastewater (score: 0.87), rainwater harvesting (score: 0.78), and recycling medical equipment wash water (score: 0.75) were the top three prioritized options. The economic criterion, with a weight of 0.35, was identified as the most influential factor in the decision-making process.

Conclusion. The results indicated that the prioritization of water recycling strategies in hospitals is influenced by a combination of economic, technical, environmental, and operational criteria. The TOPSIS model identified dialysis wastewater recycling as the most favorable option. Therefore, it is recommended to implement a pilot project for recycling dialysis wastewater, develop localized guidelines for hospital water recycling systems, and provide specialized training for hospital personnel.

Jahangiri A. Water Recycling in Public Hospitals of Markazi Province of Iran Using the TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Method: Identification and Prioritization of Strategies. *Depiction of Health*. 2025; 16(4): 381-394. doi: 10.34172/doh.2025.30. (Persian)

* Corresponding author; Abbas Jahangiri, E-mail: Jahangirieng@yahoo.com





Extended Abstract

Background

Water plays a vital role in hospitals, as it is essential for drinking, sterilization, infection control, dialysis, and maintaining environmental hygiene. In water-scarce countries like Iran, hospitals face challenges in maintaining an uninterrupted water supply, especially during crises. With climate change, rising temperatures, and urbanization, water scarcity is projected to affect over half the global population by 2050. In Iran's semi-arid regions, such as Markazi Province, declining rainfall and groundwater levels underscore the need for sustainable water management in hospitals.

Water recycling is an essential strategy because of its economic advantages and compatibility with hospital infrastructure. However, choosing the best recycling technology involves complex, multi-faceted decision criteria. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods like TOPSIS have proven effective for evaluating wastewater treatment options. Although they have been successful in related areas, TOPSIS has rarely been used for hospital water recycling in Iran. This study aims to develop a TOPSIS-based MCDM model to prioritize water recycling strategies in public hospitals of Markazi Province.

Methods

This applied, descriptive-analytical study was conducted during the Spring of 2025 across eight public hospitals in Markazi Province, which, based on data from the Markazi Province Water and Wastewater Company,

had the highest water consumption and wastewater production. A mixed-methods approach was used. The qualitative phase involved field inspections, document reviews, and semi-structured interviews with 17 experts in hospital water and wastewater management. Through content analysis using MAXQDA 2022, six potential water recycling strategies were identified along with key evaluation criteria across four dimensions: technical, economic, environmental, and operational.

In the quantitative phase, the decision matrix was constructed based on expert scoring of each alternative against the identified criteria, using a five-point Likert scale. Criteria weights were calculated using the Shannon Entropy method to ensure objectivity. Subsequently, the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) was applied to rank the alternatives based on their proximity to an ideal solution. All numerical calculations were carried out using Microsoft Excel.

The identified alternatives were:

1. Dialysis wastewater recycling
2. Rainwater harvesting
3. Recycling wash water from non-contaminated medical equipment
4. Greywater recycling from non-infectious hospital areas
5. Cooling tower water reuse
6. Recycling wash water from non-contaminated dishwashing units

Ten sub-criteria were also defined, such as ease of implementation, system reliability, operation and maintenance (O&M) costs, and staff acceptance. The evaluation framework accounted for both tangible and intangible dimensions of hospital operations.

Results

The results revealed that the dialysis wastewater recycling strategy had the highest priority with a TOPSIS score of 0.87. This was followed by rainwater harvesting (0.78) and recycling of medical equipment wash water (0.75). These three options demonstrated a favorable balance of economic feasibility, technical viability, and manageable health risks. The lowest-ranked option was recycling dishwashing water (0.58), primarily due to elevated contamination risk and higher treatment complexity.

The economic criterion proved to be the most influential factor with a total weight of 0.35, reflecting hospital administrators' primary concerns about capital and operational expenditures. Technical considerations (weight = 0.30) followed, emphasizing the importance of ease of implementation and maintenance. Environmental impacts (0.20) and operational aspects (0.15), although less dominant, still played meaningful roles in the final prioritization.

The ranking aligned with global best practices. For instance, dialysis water reuse was endorsed by Tarrass et al. (2024) as a circular economy solution in nephrology, while rainwater harvesting has proven effective in German and American hospitals in reducing potable water use. Similarly, greywater reuse and cooling tower water recovery have been found to yield measurable savings but require robust infrastructure and risk management strategies.

The diversity in the expert panel-comprising engineers, hospital managers, university faculty, and

public utility professionals-strengthened the reliability of the data. With a mean work experience of 14.8 years, the panel provided deep insights into practical and contextual factors influencing hospital water systems.

Conclusion

This study demonstrated that using a structured multi-criteria decision-making model, such as TOPSIS, enables the effective evaluation of complex water recycling options in hospital environments. Dialysis wastewater reuse was identified as the most favorable strategy due to its high volume, consistent quality, and cost-effectiveness. It is recommended to initiate a pilot implementation of this option, followed by the development of localized operational guidelines and technical training programs for hospital staff. Policymakers should also consider introducing financial incentives to encourage hospitals to invest in sustainable water practices. Ultimately, integrating qualitative expert input with quantitative MCDM tools offers a replicable and adaptable approach for water resource optimization in healthcare infrastructure.

Practical Implications of the Study

1. Implementing dialysis wastewater recycling can significantly reduce hospital water consumption without disrupting clinical operations.
2. Economic feasibility is the key driver for hospital administrators, guiding investment decisions in water recycling technologies.
3. Creating localized operational guidelines and training programs will improve the safe and efficient implementation of recycling systems.
4. The TOPSIS-based prioritization model offers a replicable framework for sustainable water management in healthcare facilities across Iran.

بازیافت آب در بیمارستان‌های عمومی استان مرکزی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس (TOPSIS): شناسایی و اولویت‌بندی راهکارها

عباس جهانگیری^{*ID}

^۱ کارشناس تحقیقات، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران

چکیده

زمینه. با توجه به بحران کم آبی و مصرف بالای آب در بیمارستان‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای بازیافت آب در این مراکز از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این پژوهش، شناسایی مناسب‌ترین راهکارهای بازیابی آب و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس معیارهای چندگانه بود.

روش کار. این مطالعه توصیفی- تحلیلی و از نوع کاربردی در بهار ۱۴۰۴ انجام شد و جامعه پژوهش شامل ۸ بیمارستان عمومی پر مصرف آب در استان مرکزی بود. ابتدا با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای، بازدهی‌های میدانی و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۷ نفر از خبرگان حوزه آب و فاضلاب بیمارستانی، راهکارهای بازیافت آب و معیارهای مؤثر شناسایی شدند. داده‌های کیفی با روش تحلیل محتوای کیفی و با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA 2022 تحلیل شد. در مرحله کمی، وزن‌دهی معیارها با روش آنتروپی شانون انجام گرفت و سپس با به‌کارگیری مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، گزینه‌ها اولویت‌بندی شدند. کلیه محاسبات عددی با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

یافته‌ها. یافته‌ها نشان داد که بازیافت پساب دیالیز با نمره ۸۷/۰، بهره‌برداری از آب باران با نمره ۷۸/۰ و بازیافت آب شست‌وشوی تجهیزات پزشکی با نمره ۷۵/۰ به‌ترتیب سه گزینه اولویت‌دار هستند. همچنین معیار اقتصادی با وزن ۳۵/۰ مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در فرآیند تصمیم‌گیری بود.

نتیجه‌گیری. نتایج نشان داد که اولویت‌بندی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان‌ها، تحت تأثیر مجموعه‌ای از معیارهای اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و عملیاتی قرار دارد که مدل تاپسیس، بازیافت پساب دیالیز را بهترین راهکار تشخیص داده است؛ لذا اجرای آزمایشی بازیافت پساب دیالیز، تدوین دستورالعمل‌های بومی برای سامانه‌های بازیافت آب و آموزشی تخصصی پرسنل بیمارستان، پیشنهاد می‌شود.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله یژ وهشی

سابقه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶

اصلاح نہای: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸

یذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱

انتشار بر خط: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴

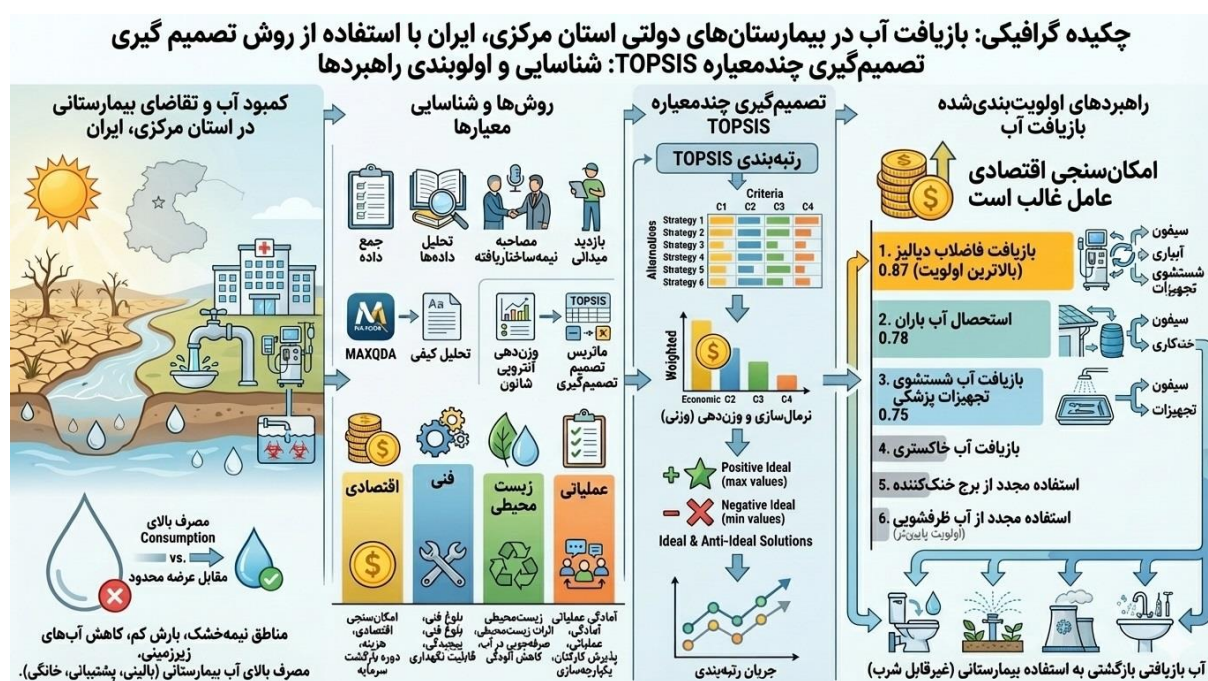
کلیدواژه‌ها:

باز یافت آب،

بیمارستان،

تصمیم‌گیری چندمعیاره،

تایسیپر



* پدید آور رابطہ عباسی جہانگیری، آدرس ایمیل: Jahangirieng@yahoo.com

مقدمه

آب در بیمارستان‌ها نقش حیاتی دارد، زیرا هم برای مصارف آشامیدنی و هم برای استریل‌سازی تجهیزات، کنترل عفونت، دیالیز، خدمات آزمایشگاهی، بهداشت محیط و تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرگونه کمبود یا آلودگی آب می‌تواند مستقیماً بر سلامت بیماران و ایمنی کارکنان تأثیر بگذارد. اهمیت و ضرورت پرداختن به بحران آب در بیمارستان‌ها، چه در ایران و چه در جهان، از آن‌روست که این مراکز به دلیل ماهیت خدمات خود، حتی در شرایط بحران و بلایا، نمی‌توانند مصرف آب خود را کاهش دهند یا به تعویق اندازند. این موضوع در کشورهای با منابع آبی محدود مانند ایران، نه تنها چالش‌هایی در تأمین پایدار آب ایجاد می‌کند، بلکه هزینه‌های قابل‌توجهی را نیز به نظام سلامت تحمیل می‌نماید.^۱

بر اساس گزارش WHO و UN-Water، تا سال ۲۰۵۰ بیش از نیمی از جمعیت جهان با کمبود شدید آب روبه‌رو خواهند شد.^۲ این بحران به دلیل تغییرات اقلیمی، افزایش دما، تبخیر، رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی، فشار مضاعفی بر منابع آب وارد می‌کند و در کشورهایی با اقلیم خشک مانند ایران، زودتر و شدیدتر اثر می‌گذارد.^۴ در چنین شرایطی، مدیریت منابع آب در بخش‌های حیاتی مانند بیمارستان‌ها اهمیتی دوچندان می‌یابد.^۵ استان مرکزی نیز به عنوان یکی از مناطق نیمه‌خشک کشور، در سال‌های اخیر با کاهش بارندگی و افت سطح آب‌های زیرزمینی مواجه بوده و این امر ضرورت اتخاذ راهکارهای پایدار برای مدیریت و بهینه‌سازی مصرف آب در بیمارستان‌های این استان را بیش از پیش آشکار کرده است.^۶

برای مقابله با بحران آب، استراتژی‌های متعددی وجود دارد، از جمله: بازچرخانی و استفاده مجدد از آب؛ مدیریت و پایش هوشمند مصرف آب؛ بازنگری در استفاده از تجهیزات پرمصرف، اطلاع‌رسانی و آموزش برای فرهنگ‌سازی از طریق ابزارهایی مانند پوستر، تصاویر آموزشی و اینفوگرافی و غیره.^۷ این استراتژی‌ها هر کدام مزایا و محدودیت‌هایی دارند، اما بازچرخانی و استفاده مجدد از آب به دلیل عدم وابستگی به منابع آب تازه، مدیریت مؤثر پساب، کاهش فشار بر شبکه فاضلاب شهری و ایجاد صرفه‌جویی اقتصادی بلندمدت، از جایگاه

ویژه‌ای مخصوصاً در بیمارستان‌ها به دلیل عدم ایجاد اختلال در خدمات درمانی و سازگاری با زیرساخت بسیاری از آنها برخوردار است.^{۸،۹} با وجود مزایای ذکر شده، بازیافت آب به عنوان استراتژی اصلی این پژوهش انتخاب شده است.

با وجود مزایای بالقوه بازیافت آب، انتخاب مناسب‌ترین فناوری یا راهکار بازیافت با چالش‌های متعددی مواجه است. پیچیدگی فنی، هزینه‌های اولیه و جاری، نیاز به فضای فیزیکی، سهولت نگهداری و ریسک‌های بهداشتی از جمله عوامل اثرگذار بر این تصمیم‌گیری هستند.^{۱۰} از آنجا که این معیارها ماهیتی چندبعدی و گاه متضاد دارند، نیاز به یک رویکرد ساختارمند برای ارزیابی و مقایسه گزینه‌های مختلف احساس می‌شود.

در سال‌های اخیر، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سال‌های اخیر، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi-Criteria Decision Making-MCDM) نظیر TOPSIS، VIKOR، AHP و غیره به عنوان ابزارهایی قدرتمند در تحلیل و اولویت‌بندی گزینه‌ها با معیارهای متنوع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش تاپسیس به دلیل سادگی، کارآمدی و قابلیت تفسیر بالا، در مسائل مربوط به انتخاب تکنولوژی و مدیریت منابع مورد توجه فراوان بوده است.^{۱۱} در طی سال‌های اخیر، مطالعات متعددی به کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌ویژه تکنیک تاپسیس در مدیریت پسماندهای بیمارستانی و تصفیه فاضلاب پرداخته‌اند. برای مثال، پژوهشی در سال ۲۰۲۴ با استفاده از روش تاپسیس به ارزیابی سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز پرداخت و نشان داد که این تکنیک می‌تواند ابزار مؤثری برای انتخاب فناوری‌های مناسب در شرایط مختلف باشد.^{۱۲} همچنین، مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۲۵ به بررسی روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب بیمارستانی با تمرکز بر حذف باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک و ژن‌های مقاومت پرداخت و تأکید کرد که انتخاب فناوری مناسب با استفاده از رویکردهای MCDM می‌تواند به بهبود کیفیت تصفیه کمک کند.^{۱۳} در ایران نیز، پژوهشی در سال ۱۴۰۴ با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP به شناسایی و اولویت‌بندی استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی در فاضلاب بیمارستان‌های منتخب استان مرکزی پرداخته است.^{۱۴} با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که

کاربرد روش تاپسیس در زمینه بازیافت آب در بیمارستان‌ها، به‌ویژه در ایران، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این خلأ پژوهشی، ضرورت انجام مطالعاتی را که به اولویت‌بندی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان‌ها با استفاده از روش‌های MCDM می‌پردازند، برجسته می‌سازد. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر، طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره به روش تاپسیس جهت اولویت‌بندی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان‌های عمومی استان مرکزی است. در این مطالعه تلاش شده است تا با تحلیل چند معیاره، راهکارهای مناسب بازیافت آب رتبه‌بندی شده و مبنایی برای تصمیم‌گیری مدیران بیمارستان‌ها و سیاست‌گذاران سلامت ارائه گردد.

روش کار

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است که به‌صورت ترکیبی (کمی و کیفی) در بهار سال ۱۴۰۴، بر روی ۸ بیمارستان عمومی منتخب در استان مرکزی انجام شده است. انتخاب این بیمارستان‌ها بر اساس گزارش‌های ارائه شده توسط شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی به‌دلیل بیشترین حجم مصرف آب و تولید فاضلاب صورت گرفت. به همین دلیل این بیمارستان‌ها، بیشترین تأثیر زیست‌محیطی را در سطح استان داشته و تمرکز بر آن‌ها امکان تحلیل دقیق‌تر و هدفمندتر سیستم‌های آب و فاضلاب بیمارستانی را فراهم می‌کرد. همچنین، جهت تنوع‌بخشی به نمونه‌ها، بیمارستان‌های عمومی به‌دلیل وجود بخش‌ها و تخصص‌های متفاوت انتخاب شدند تا نتایج مطالعه، قابلیت تعمیم و کاربرد در سطوح مختلف بیمارستان‌ها را داشته باشد.

ابتدا بازدیدهایی میدانی از تاسیسات و بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها صورت گرفت تا ضمن شناسایی نقاط کلیدی مصرف آب و تولید پساب، اطلاعات لازم درباره شرایط فنی و زیرساخت‌های آب و فاضلاب بیمارستان‌ها جمع‌آوری شود. این بازدیدها کمک کرد تا درک دقیق‌تری در رابطه با دامنه مسائل، پتانسیل‌های بازیافت و محدودیت‌های عملیاتی حاصل شود.

در مرحله بعد، با بهره‌گیری از نظرات ۱۷ کارشناس متخصص در حوزه‌های مهندسی بهداشت محیط،

تاسیسات بیمارستانی، مهندسی صنایع، آب و فاضلاب و مدیریت منابع آب، که از تجربه و دانش کافی در زمینه‌ی آب و فاضلاب بیمارستانی برخوردار بودند، و نیز با مرور نظام‌مند منابع علمی و پژوهش‌های مرتبط، داده‌های لازم جهت تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (شناسایی راهکارهای بازیافت آب و معیارهای تأثیرگذار در اولویت‌بندی این راهکارها) جمع‌آوری شد. برای این منظور ابتدا لازم بود که راهکارهای بازیافت آب، شناسایی شود. بنابراین پس از انجام بازدیدهای میدانی لازم از تاسیسات بیمارستان‌ها و مراجعه به پایگاه‌های علمی معتبر از جمله ScienceDirect، PubMed و SID، اقدام به انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان منتخب به عمل آمد. مصاحبه‌ها به‌صورت حضوری یا تلفنی، هر کدام به مدت تقریبی ۳۰ تا ۴۵ دقیقه انجام شد. معیارهای انتخاب خبرگان شامل سابقه کاری مرتبط، تحصیلات تخصصی و تجربه عملی در حوزه‌ی مدیریت آب و فاضلاب بیمارستانی بود. پس از جمع‌بندی اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی، مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات خبرگان، تعدادی راهکار به‌منظور بازیافت آب شناسایی شد که لازم بود این راهکارها اولویت‌بندی شوند.

به‌منظور اولویت‌بندی راهکارهای شناسایی شده، لازم بود تا معیارهایی جهت اولویت‌بندی این راهکارها تعیین شود؛ زیرا مسأله‌ی اولویت‌بندی، یک مسأله‌ی چند بُعدی می‌باشد و چندین معیار باید همزمان با هم در نظر گرفته شود. بدین منظور به‌طور مشابه، به مطالعات کتابخانه‌ای در همان پایگاه‌های علمی و مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با همان خبرگان پرداخته شد و با جمع‌بندی اطلاعات در دسترس، معیارهای تأثیرگذار در فرآیند اولویت‌بندی مشخص شد.

برای اعتباربخشی به داده‌های فاز کیفی، چهار مؤلفه اعتبار، قابلیت اعتماد، قابلیت انتقال و تأییدپذیری مورد توجه قرار گرفت. برای اعتبار، راهبرد بازبینی مشارکت‌کنندگان استفاده شد. برای تأییدپذیری و قابلیت اعتماد، از فرآیند مشابهی استفاده گردید؛ کلیه مراحل گردآوری و تحلیل داده مستندسازی شده و توسط دو محقق دیگر بازبینی گردید. همچنین، با انتخاب مشارکت‌کنندگانی از موقعیت‌های شغلی و سازمانی متنوع، قابلیت انتقال یافته‌ها تقویت شد. داده‌های کیفی حاصل از

کسب شده، رتبه‌بندی شدند. تمامی محاسبات فاز کمی این مطالعه با نرم‌افزار Excel انجام شد.

یافته‌ها

در این پژوهش، به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای بازیافت آب، از نظرات ۱۷ نفر از خبرگان استفاده شد. این خبرگان شامل مدیران فنی بیمارستان‌ها، مهندسان تأسیسات بیمارستانی، کارشناسان بهداشت محیط، متخصصان مهندسی صنایع در حوزه سلامت، اساتید دانشگاه و همچنین کارشناسان ارشد و مهندسان شاغل در شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی بودند. از نظر جنسیتی، ۱۳ نفر (۷۶ درصد) از خبرگان مرد و ۴ نفر (۲۴ درصد) زن بودند. از نظر سطح تحصیلات، ۶ نفر (۳۵ درصد) دارای مدرک دکتری تخصصی، ۹ نفر (۵۳ درصد) دارای کارشناسی ارشد و ۲ نفر (۱۲ درصد) دارای مدرک کارشناسی بودند. میانگین سابقه کاری این افراد، ۱۴/۸ سال با انحراف معیار ۵/۱ سال بود. این تنوع تخصصی و تجمیع تجربه میان خبرگان، موجب افزایش اعتبار و قابلیت اتکای نتایج حاصل از فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره شد. خروجی فاز کیفی این مطالعه که شامل شناسایی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان‌ها (گزینه‌های تصمیم) و معیارهای تاثیرگذار در اولویت‌بندی آنان بودند، به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ به همراه توضیحات مربوط به هرکدام نشان داده شده است.

مراحل فوق، با روش تحلیل محتوای کیفی و با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA 2022 تحلیل شد.

پس از مشخص شدن راهکارها و معیارهای تاثیرگذار، در گام بعد به‌منظور اولویت‌بندی راهکارها، از تصمیم‌گیری چند شاخصه بهره گرفته شد و فاز کمی مطالعه آغاز شد. در ابتدا لازم بود تا ماتریس تصمیم مساله تشکیل گردد. بدین منظور امتیاز هر راهکار از حیث هر معیار با توزیع برگه‌ای حاوی ماتریس تصمیم خام در میان خبرگان و درخواست امتیاز دهی از ۱ تا ۵ و سپس با محاسبه میانگین امتیازات اخذ شده، تعیین شد و مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم، نوبت به تعیین وزن هر کدام از معیارها رسید، زیرا هر معیار می‌تواند اهمیت کمتر یا بیشتری نسبت به معیار دیگر داشته باشد. روش‌های مختلفی برای تعیین وزن معیارها وجود دارد که در این تحقیق از پرکاربردترین آنها یعنی روش آنتروپی شانون بهره گرفته شد.

در گام بعد به‌منظور پردازش ماتریس تصمیم‌گیری مسأله، مدل تاپسیس به کار گرفته شد. بنابراین برای انجام این کار در ابتدا ماتریس تصمیم مساله نرمال‌سازی، سپس وزن‌دهی و سایر عملیات‌های ریاضی لازم روی آن پیاده‌سازی شد و با انجام این مراحل، نمره‌ی نهایی راهکارها تعیین شد و در نهایت راهکارها بر اساس نمره‌ی

جدول ۱. گزینه‌های بازیافت آب در بیمارستان‌های عمومی منتخب استان مرکزی به همراه توضیحات تکمیلی

ردیف	راهکارها (گزینه‌ها)	توضیحات تکمیلی
۱	بازیافت پساب تولیدی در سامانه‌های دیالیز بیمارار	آب خروجی از دستگاه‌های دیالیز که به‌صورت مداوم و با کیفیت نسبتاً ثابت تولید می‌شود و حجم قابل توجهی دارد، قابلیت تصفیه و استفاده مجدد در مصارفی مانند فلاش تانک یا آبیاری فضای سبز را دارد.
۲	بازیافت آب خروجی از شست‌وشوی تجهیزات پزشکی غیرعفونی	آب حاصل از شست‌وشوی ابزارها و تجهیزات غیرعفونی، معمولاً دارای سطح آلودگی پایین‌تری است و پس از تصفیه مناسب می‌تواند در مصارف غیرمستقیم مانند فلاش تانک‌ها، شست‌وشوی محوطه، یا آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار گیرد، بدون آنکه در تماس مستقیم با بیماران یا تجهیزات حساس قرار گیرد.
۳	بازیافت آب برج‌های خنک‌کننده	آب در گردش برج‌های خنک‌کننده که به‌دلیل تبخیر و غلظت املاح نیاز به دفع دارد، پس از پیش‌تصفیه مناسب می‌تواند در چرخه سرمایشی یا برای مصارف ثانویه مجدد مورد استفاده قرار گیرد.
۴	بازیافت آب خاکستری بخش‌های غیرعفونی بیمارستان	آب ناشی از دوش، روشویی‌ها و شست‌وشوی کف در بخش‌های غیرعفونی، که با تصفیه مناسب می‌تواند برای آبیاری فضای سبز، شست‌وشوی محوطه یا سیستم‌های فلاشینگ مجدد استفاده شود.
۵	بازیافت آب خروجی از شست‌وشوی ظروف و تجهیزات غیرعفونی	آب مصرفی در آشپزخانه یا بخش‌هایی که ظروف غیربیمارستانی شسته می‌شوند، پس از تصفیه می‌تواند به‌عنوان منبعی برای مصارف غیرمستقیم در تأسیسات یا فضای سبز استفاده گردد.
۶	بازیافت و بهره‌برداری از آب باران	جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌ها و سطوح نفوذناپذیر، ذخیره‌سازی و تصفیه اولیه آن برای استفاده در آبیاری، فلاش تانک‌ها یا خنک‌کننده‌ها، گزینه‌ای اقتصادی و زیست‌محیطی برای کاهش وابستگی به آب شرب است.

جدول ۲. معیارهای تاثیرگذار در اولویت‌بندی گزینه‌ها به همراه توضیحات هر مورد

معیارهای اصلی	زیر معیارها	توضیحات تکمیلی
معیارهای فنی	سهولت اجرا و پیاده‌سازی	ارزیابی میزان پیچیدگی فنی و اجرایی طرح پیشنهادی، شامل نیاز به تغییرات گسترده در ساختار تأسیسات بیمارستان، سهولت نصب و شروع به کار سیستم بازیافت.
	پایداری و قابلیت اطمینان سیستم	بررسی میزان دوام، پایداری عملکرد سیستم در طول زمان و مقاومت آن در برابر خرابی‌های احتمالی در شرایط عملیاتی متغیر در بیمارستان‌ها.
	نیاز به نگهداری و تعمیرات	میزان نیاز به بازرسی‌های مداوم، تخصص موردنیاز برای نگهداری، دفعات و هزینه‌های تعمیرات و سهولت در تأمین قطعات یدکی.
معیارهای اقتصادی	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	برآورد هزینه‌های اولیه موردنیاز برای طراحی، خرید تجهیزات، نصب و راه‌اندازی سیستم بازیافت مورد نظر.
	هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری	هزینه‌های جاری مرتبط با استفاده مداوم از سیستم، شامل مصرف انرژی، مواد مصرفی، نیروی انسانی و هزینه نگهداری دوره‌ای.
معیارهای زیست‌محیطی	کاهش مصرف آب تازه	سنجش میزان صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب شرب شهری از طریق جایگزینی آن با آب بازیافتی.
	کاهش بار آلاینده‌ها و اثرات زیست‌محیطی	بررسی میزان کاهش حجم فاضلاب و بار آلودگی وارد شده به شبکه فاضلاب شهری و اثرات مثبت بر محیط زیست محلی.
معیار عملیاتی	سازگاری با زیرساخت‌های موجود	ارزیابی میزان انطباق سیستم پیشنهادی با ساختار فیزیکی و تأسیساتی فعلی بیمارستان بدون نیاز به تغییرات عمده.
	پذیرش و همکاری کارکنان	بررسی میزان همکاری، مشارکت و نگرش کارکنان بیمارستان نسبت به استفاده از سیستم بازیافت و نقش آن‌ها در اجرای موفق طرح.
	سهولت بهره‌برداری و آموزش لازم	میزان سادگی استفاده از سیستم و نیاز به آموزش‌های تخصصی برای بهره‌برداران جهت راهبری، نگهداری و نظارت مؤثر بر آن.

با انجام فاز کمی مطالعه، وزن معیارها و زیر معیارها، تصمیم با استفاده از روش تاپسیس، نمره‌ی نهایی هر راهکار (شاخص نزدیکی به ایده‌آل) و رتبه هر راهکار محاسبه شد که در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق جدول ۳ به دست آمد و پس از پردازش ماتریس

جدول ۳. وزن معیارها و زیر معیارها

معیار اصلی	وزن	زیر معیارها	وزن هر زیر معیار (نسبت به معیار اصلی)	وزن نهایی هر زیر معیار (با ضرب در وزن معیار اصلی)
اقتصادی	۰/۳۵	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	۰/۵	۰/۱۷۵
		هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری	۰/۵	۰/۱۷۵
فنی	۰/۳۰	سهولت اجرا و پیاده‌سازی	۰/۴	۰/۱۲۰
		پایداری و قابلیت اطمینان سیستم	۰/۳۵	۰/۱۰۵
		نیاز به نگهداری و تعمیرات	۰/۲۵	۰/۰۷۵
زیست‌محیطی	۰/۲	کاهش مصرف آب تازه	۰/۵	۰/۱۰۰
		کاهش بار آلاینده‌ها و اثرات زیست‌محیطی	۰/۵	۰/۱۰۰
عملیاتی	۰/۱۵	سازگاری با زیرساخت‌های موجود	۰/۴	۰/۰۶۰
		پذیرش و همکاری کارکنان	۰/۳	۰/۰۴۵
		سهولت بهره‌برداری و آموزش لازم	۰/۳	۰/۰۴۵

جدول ۴. نمره نهایی و رتبه هر راهکار

رتبه	نمره هر گزینه (شاخص نزدیکی به ایده آل)	گزینه‌ها (راهکارهای بازیافت آب)
۱	۰/۸۷	بازیافت پساب دیالیز
۲	۰/۷۸	بازیافت و بهره‌برداری از آب باران
۳	۰/۷۵	بازیافت آب شست‌وشوی تجهیزات پزشکی
۴	۰/۷۰	بازیافت آب خاکستری بخش‌های غیرعفونی بیمارستان
۵	۰/۶۴	بازیافت آب برج‌های خنک‌کننده
۶	۰/۵۸	بازیافت آب شست‌وشوی ظروف غیرعفونی

بحث

نظام‌مند تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه سلامت توسط چاکرابورتی (Chakraborty) و همکاران، معیارهای زیست‌محیطی در بیش از نیمی از مطالعات به‌عنوان مؤلفه‌های کلیدی ارزیابی شده‌اند.^{۱۸} همچنین در مطالعه ثاقی و احمدی نیز این معیار به‌عنوان بخشی از ارزیابی پایایی سیستم‌های تصفیه فاضلاب لحاظ شده است.^{۱۲}

در نهایت، معیار عملیاتی با وزن ۰/۱۵ کم‌ترین اهمیت را از دید خبرگان داشته است. زیرمعیارهایی مانند سازگاری با زیرساخت موجود، همکاری کارکنان، و نیاز به آموزش بهره‌برداران در این گروه گنجانده شدند. با وجود وزن پایین‌تر، این معیار در دیگر مطالعات نیز کم‌اهمیت‌تر از سایر معیارها ارزیابی شده است. برای مثال، در مطالعه داس و راداکریشن و همچنین مطالعه ثاقی و احمدی، جنبه‌های اجتماعی- عملیاتی تنها در صورتی برجسته شده‌اند که از نظر فنی و اقتصادی گزینه‌ها قابل توجیه بوده‌اند.^{۱۶، ۱۲}

در مجموع، نتایج این پژوهش با یافته‌های معتبر علمی تطابق دارد و نشان می‌دهد که در محیط‌های بیمارستانی، اولویت تصمیم‌گیرندگان عمدتاً به‌سمت کارآمدی مالی و فنی متمایل است، در حالی که ابعاد زیست‌محیطی و عملیاتی به‌عنوان مؤلفه‌های تکمیلی اما کم‌اهمیت‌تر در نظر گرفته می‌شوند. این یافته‌ها می‌تواند راهنمای مناسبی برای طراحی سیاست‌ها و انتخاب فناوری‌های بازیافت آب در بیمارستان‌های کشور باشد.

نتایج حاصل از نمره و رتبه‌بندی راهکارهای بازیافت آب، نشان می‌دهد که روش‌های مختلف بازیافت با توجه به معیارهای اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و عملیاتی از جایگاه‌های متفاوتی برخوردارند. این رتبه‌بندی می‌تواند راهنمای مهمی برای تصمیم‌گیرندگان در اولویت‌بندی و اجرای بهینه برنامه‌های بازیافت آب در بیمارستان‌ها باشد.

یافته‌های حاصل از معیارها و مقادیر عددی وزن آنها نشان می‌دهد که در اولویت‌بندی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان‌های عمومی استان مرکزی، معیار اقتصادی بیشترین وزن (۰/۳۵) را به خود اختصاص داده است. این موضوع بیانگر آن است که تصمیم‌گیرندگان در سطح مدیریتی، توجه ویژه‌ای به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های جاری بهره‌برداری دارند. این نتیجه با یافته‌های هان (Han) و همکاران که در ارزیابی استراتژی‌های پایدار مدیریت آب با استفاده از روش تاپسیس، معیار «صرفه‌جویی اقتصادی» را مهم‌ترین عامل انتخاب معرفی کرده‌اند، مطابقت دارد.^{۱۹} همچنین داس و راداکریشن (Das & Radhakrishnan) در پژوهشی پیرامون بازاستفاده فاضلاب در هند، به این نتیجه رسیدند که تصمیم‌گیرندگان همواره شاخص‌های مالی را در اولویت قرار می‌دهند.^{۱۶}

دومین معیار با اهمیت در این پژوهش، معیار فنی با وزن ۰/۳۰ بود. زیرمعیارهایی مانند سهولت اجرا، پایداری سیستم، و نیاز به نگهداری و تعمیرات، از منظر فنی بررسی شده‌اند. این نتایج با یافته‌های ثاقی و احمدی که معیارهای فنی را در بررسی سیستم‌های غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب در مراکز درمانی، در رتبه دوم اهمیت قرار داده بودند، هموست.^{۱۲} همچنین در یک چارچوب تصمیم‌یار در زمینه بازاستفاده از فاضلاب که توسط سوکو (Sucu) و همکاران ارائه شد، «قابلیت اجرای فناوری» به‌عنوان یکی از چهار محور کلیدی تحلیل معرفی شده است.^{۱۷}

معیار زیست‌محیطی با وزن ۰/۲۰ در رتبه سوم اهمیت قرار گرفت. دو زیرمعیار «کاهش مصرف آب تازه» و «کاهش بار آلاینده‌ها» در این دسته قرار گرفتند. اهمیت این معیار از این نظر قابل توجه است که در بسیاری از بیمارستان‌ها، کاهش فشار بر منابع طبیعی و کنترل پیامدهای زیست‌محیطی اهمیت فزاینده‌ای یافته است. در مرور

در پژوهش حاضر، باز یافت پساب دیالیز با امتیاز ۰/۸۷، به عنوان راهکار اولویت‌دار در مدیریت منابع آب بیمارستانی شناسایی شده است. این نتیجه با یافته‌های تاراس (Tarrass) و همکاران که باز یافت پساب دیالیز را گامی مؤثر در راستای اقتصاد دایره‌ای و کاهش اثرات زیست‌محیطی معرفی کرده‌اند هم‌راستا است.^{۱۹} همچنین، مطالعه‌ای میدانی توسط مهدوی و همکاران در بیمارستانی در ساوه نشان داد که بخش دیالیز یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌ها از نظر مصرف آب است و باز یافت پساب این بخش می‌تواند تأثیر چشمگیری در کاهش مصرف کلی آب بیمارستان داشته باشد.^{۲۰}

باز یافت و بهره‌برداری از آب باران با نمره ۰/۷۸ در رتبه دوم قرار گرفت. آب باران منبعی تجدیدپذیر و پاک است که استفاده از آن در بیمارستان‌ها می‌تواند به کاهش فشار بر منابع آب شهری کمک کند این یافته با یافته‌های مطالعات بین‌المللی همسو است. کونینگ (Koenig) در آلمان نشان داد که جمع‌آوری آب باران در بیمارستان‌ها می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل‌توجه در مصرف و هزینه‌های آب شود.^{۲۱} همچنین، فولتون (Fulton) در مطالعه‌ای گزارش کرد که بیمارستان‌های بزرگ می‌توانند تا ۲۵ درصد مصرف آب خود را با این روش کاهش دهند.^{۲۲}

تحقیق گارگ (Garg) نیز بر ضرورت طراحی مناسب برای بهره‌برداری مؤثر از آب باران در ساختمان‌های درمانی تأکید دارد. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از آب باران، هم از نظر زیست‌محیطی و هم اقتصادی، راهکاری معتبر و قابل‌انکاس برای کاهش مصرف آب در بیمارستان‌هاست.^{۲۳} شایان ذکر است با وجود کمبود بارش در استان مرکزی، اهمیت استراتژی باز یافت و بهره‌برداری از آب باران از منظر خبرگان بیشتر به دلیل پتانسیل آن در کاهش وابستگی به منابع آب شهری و افزایش استفاده بهینه از منابع محدود آب‌های سطحی و جوی ارزیابی شده است. همچنین این راهکار به عنوان روشی مکمل و کم‌هزینه با قابلیت پیاده‌سازی در مقیاس‌های کوچک و متوسط در بام‌ها و سطوح ساختمان‌های بیمارستانی، به کاهش مصرف آب تازه و کاهش بار آلاینده‌ها کمک می‌کند. از سوی دیگر، برخی خبرگان با توجه به نوسانات اقلیمی و احتمال وقوع بارش‌های مقطعی، این استراتژی را دارای پایداری و انعطاف‌پذیری خوبی دانسته و به همین دلیل وزن و امتیاز بالایی به آن داده‌اند.

باز یافت آب شست‌وشوی تجهیزات پزشکی با نمره ۰/۷۵ در رتبه سوم قرار گرفت. آب شست‌وشوی تجهیزات پزشکی به دلیل آلودگی‌های احتمالی، نیازمند تصفیه دقیق است، اما می‌تواند حجم قابل توجهی از مصرف آب را کاهش دهد این یافته با یافته‌های مطالعات پیشین همسو است. آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده در بیمارستانی در آمریکا نشان داد که استفاده از سیستم‌های بازچرخانی در فرآیند شست‌وشو می‌تواند سالانه تا ۱/۶ میلیون گالن صرفه‌جویی در مصرف آب ایجاد کند.^{۲۴} همچنین مرکز دانش استریس (STERIS Knowledge Center) بر اهمیت کیفیت آب بازچرخانی‌شده در شست‌وشوی تجهیزات تأکید دارد و آن را از نظر ایمنی عفونت حیاتی می‌داند.^{۲۵} فائزی‌پور و فریرا نیز در تحقیق خود بیان نموده‌اند که اجرای این نوع سیستم‌ها نه تنها در مصرف آب صرفه‌جویی می‌کند، بلکه از نظر اقتصادی نیز بازگشت سرمایه سریعی دارد.^{۲۶}

باز یافت آب خاکستری از بخش‌های غیرعفونی بیمارستان، با کسب نمره ۰/۷۰ و قرار گرفتن در رتبه چهارم، نشان‌دهنده پتانسیل مناسب این گزینه در کاهش مصرف آب و ارتقای بهره‌وری منابع در مراکز درمانی است. آب خاکستری که از بخش‌های غیرعفونی بیمارستان به دست می‌آید، کیفیت پایین‌تری نسبت به آب شست‌وشوی تجهیزات دارد و باز یافت آن نیازمند روش‌های تصفیه پیشرفته و نظارت دقیق است. یافته‌های پژوهش حاضر با شواهد منتشرشده در منابع معتبر علمی محققین دیگر همسو است. به عنوان مثال، بلنکی (Blanky) و همکاران، آردن و ما (Arden & Ma) و خواجهوند و همکاران تأکید دارند که با به کارگیری روش‌های تصفیه‌ای نظیر کلرزنی، فیلتراسیون و سیستم‌های باتلاق مصنوعی، می‌توان کیفیت آب خاکستری را به سطحی ایمن برای مصارف غیرنوشیدنی (مانند فلاشینگ و آبیاری) رساند، بدون آنکه خطر میکروبی، به ویژه در ارتباط با پاتوژن‌هایی نظیر لژیونلا پنوموفیلا (*Legionella Pneumophila*)، از حد مجاز فراتر رود.^{۲۷-۲۹} بر این اساس، انتخاب این گزینه با رتبه‌ای میانی، منعکس‌کننده تعادل میان مزایای زیست‌محیطی و ملاحظات فنی و بهداشتی آن است.

باز یافت آب برج‌های خنک‌کننده با نمره ۰/۶۴ در رتبه پنجم قرار گرفته است؛ این گزینه اگرچه پتانسیل کاهش

سبب قرار گرفتن این گزینه در رتبه پایین تر نسبت به سایر راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان ها شده است.^{۳۰} به طور کلی نتایج این مطالعه که اولویت بندی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان های عمومی استان مرکزی را با استفاده از روش تاپسیس ارائه کرده است، همسو با تحقیقات پیشین، نقش مهمی در بهینه سازی مصرف منابع آب ایفا می کند. با این حال، محدودیت هایی همچون استفاده از داده های ترکیبی کتابخانه ای و نظرات خبرگان و نبود داده های میدانی جامع، می تواند بر دقت و تعمیم پذیری نتایج تأثیرگذار باشد. همچنین، تفاوت های ساختاری و فناوری موجود در هر بیمارستان ممکن است بر اولویت بندی راهکارها تأثیرگذار باشد. بنابراین، انجام مطالعات میدانی تکمیلی و ارزیابی های جامع تر به منظور تأیید و تعمیم نتایج این پژوهش ضروری است. با وجود این محدودیت ها، این مطالعه گام مؤثری در جهت حمایت از تصمیم گیری های هوشمندانه و مدیریت پایدار منابع آب در حوزه بهداشت و درمان فراهم کرده است.

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اولویت بندی راهکارهای بازیافت آب در بیمارستان های عمومی استان مرکزی، تحت تأثیر مجموعه ای از معیارهای اقتصادی، فنی، زیست محیطی و عملیاتی قرار دارد که با استفاده از مدل تصمیم گیری چندمعیاره تاپسیس به خوبی قابل تحلیل و تبیین است. یافته ها حاکی از آن بود که در بین شش راهکار شناسایی شده، بازیافت پساب دیالیز با کسب بالاترین نمره نزدیکی به راه حل ایده آل، به عنوان مناسب ترین گزینه در زمینه مدیریت پایدار آب در محیط بیمارستانی شناخته شد. پس از آن، بهره برداری از آب باران و بازیافت آب شست و شوی تجهیزات پزشکی در رتبه های دوم و سوم قرار گرفتند. این اولویت بندی نشان می دهد که در شرایط کنونی، راهکارهایی که دارای توجیه اقتصادی، قابلیت اجرایی بالا و ریسک بهداشتی کمتر هستند، از مطلوبیت بیشتری برخوردارند.

از سوی دیگر، معیار اقتصادی با وزن ۰/۳۵، به عنوان اثرگذارترین معیار شناسایی شد؛ امری که بر نقش کلیدی هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری در تصمیم گیری مدیران بیمارستانی صحنه می گذارد. اهمیت بالای معیارهای

مصرف چشمگیر دارد، اما نیازمند تصفیه تخصصی، کنترل های شدید بهداشتی و مدیریت خطرات زیستی است. آب برج های خنک کننده به دلیل وجود مواد شیمیایی و احتمال رسوب و خوردگی، چالش هایی را در فرایند بازیافت ایجاد می کند. یافته های داوودآبادی فراهانی و همکاران نشان می دهد که بازچرخانی آب برج های خنک کننده با استفاده از پیش تصفیه و فناوری هایی مانند نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس می تواند مصرف آب را به طور مؤثری کاهش دهد.^{۳۰} با این حال، پژوهش های دیگر متذکر شده اند که این آب به دلیل خطر رشد باکتری لژیونلا و رسوب گذاری، نیازمند برنامه های جامع نگهداری، نظارت دوره ای و ضد عفونی است.^{۳۱} گزارش تسهیلات نظامی آژانس ((Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)) نیز نشان می دهد که استفاده از منابع جایگزین مانند آب برج می تواند در موارد اضطراری سطح پایداری را حفظ کند، مشروط بر آن که سیستم تصفیه کامل و تجهیزات ذخیره سازی مناسب فراهم شود.^{۳۲} بر این اساس، نمره ۰/۶۴ بازتاب دهنده تعادلی منطقی میان صرفه جویی قابل توجه و نیاز به مدیریت دقیق خطرات بهداشتی و فنی است.

بازیافت آب شست و شوی ظروف غیرعفونی در بیمارستان ها با کسب نمره ۰/۵۸ کمترین اولویت را کسب نموده است. آب شست و شوی ظروف غیرعفونی به دلیل بار آلودگی آلی و میکروبی بالا و نیز احتمال وجود پاتوژن های فرصت طلب، نسبت به سایر منابع آب خاکستری با ریسک بیشتری همراه است و اجرای آن نیازمند استفاده از فناوری های پیشرفته ای مانند الکتروکواگولاسیون و اولترافیلتراسیون و همچنین پایش دقیق شاخص هایی نظیر کدورت، E.coli و pH می باشد.^{۳۳} مطالعات علمی نشان داده اند که اگرچه با رعایت استانداردهای سختگیرانه می توان این آب را برای مصارف غیرآشامیدنی مانند شست و شوی محوطه یا آبیاری فضای سبز استفاده کرد، اما به دلیل حساسیت محیط بیمارستانی و حضور بیماران آسیب پذیر، اجرای این راهکار باید با ارزیابی ریسک و کنترل های بهداشتی مضاعف همراه باشد.^{۳۴} راهنماهای بین المللی نیز تأکید دارند که بازیافت این نوع آب در مراکز درمانی باید تنها برای کاربردهای غیرشرب و با رعایت کامل الزامات ایمنی و بهداشتی انجام شود، که همین موضوع

فنی و زیست محیطی نیز بر لزوم در نظر گرفتن پایداری سیستم‌ها و آثار مثبت زیست محیطی در ارزیابی راهکارهای بازیافت آب تأکید دارد. اگرچه معیار عملیاتی دارای کمترین وزن بود، اما همچنان در پیاده‌سازی موفق هر طرح، نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کند.

در مجموع، این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری رویکرد ترکیبی متشکل از تحلیل‌های کیفی مبتنی بر نظرات خبرگان، بازدیدهای میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای و ارزیابی‌های کمی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر تاپسیس، می‌تواند چارچوبی ساختارمند و کارآمد برای تحلیل مسائل چندوجهی و انتخاب راهکارهای بهینه در حوزه‌های پیچیده‌ای مانند مدیریت منابع آب در بیمارستان‌ها فراهم آورد. یافته‌های حاصل از این رویکرد تلفیقی، می‌توانند مبنایی علمی و کاربردی برای تصمیم‌گیری‌های راهبردی، بهینه‌سازی مصرف آب و ارتقاء پایداری در نظام سلامت کشور فراهم کنند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که فرآیند اجرای پایلوت راهکار بازیافت پساب دیالیز به‌عنوان اولویت‌دارترین گزینه، در یکی از بیمارستان‌های عمومی استان مرکزی آغاز گردد تا ضمن ارزیابی عملی و اقتصادی، زمینه برای تعمیم این تجربه به سایر مراکز درمانی فراهم شود. همچنین، تدوین دستورالعمل‌های بومی در زمینه طراحی و بهره‌برداری از سامانه‌های بازیافت آب در بیمارستان‌ها با تأکید بر معیارهای استخراج‌شده از این پژوهش (از جمله فنی، اقتصادی و زیست محیطی) می‌تواند نقش مؤثری در استانداردسازی و تسهیل پیاده‌سازی این فناوری‌ها ایفا کند. توانمندسازی نیروی انسانی از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی در حوزه فناوری‌های نوین تصفیه آب و الزامات بهداشتی مرتبط، گامی اساسی در ارتقاء بهره‌برداری صحیح از سامانه‌های بازیافت خواهد بود. همچنین، ضروری است سیاست‌گذاران بخش سلامت با در نظر گرفتن مشوق‌های مالی و حمایتی، بیمارستان‌ها را به سرمایه‌گذاری در حوزه بازیافت آب ترغیب نمایند. انجام مطالعات میدانی تکمیلی با استفاده از داده‌های واقعی مصرف، تولید پساب و هزینه‌ها، به‌منظور اعتبارسنجی یافته‌های پژوهش حاضر و افزایش قابلیت تعمیم آن به سایر مناطق کشور توصیه می‌شود.

با توجه به اهمیت کاهش مصرف آب در بیمارستان‌ها، مدیریت بهینه مصرف آب به‌عنوان یک راهکار کلیدی

مکمل بازیافت پساب مطرح است. استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف و بهینه‌سازی سیستم‌های تأسیسات، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف آب تازه داشته باشد. همچنین، ادغام راهکارهای کاهش مصرف آب با سیستم‌های تصفیه و بازیافت پساب، به تحقق مدیریت جامع منابع آبی در بیمارستان‌ها کمک می‌کند و زمینه‌ساز حفظ منابع محدود آب و کاهش اثرات زیست محیطی خواهد بود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، توجه ویژه‌تری به این جنبه‌ها صورت گیرد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر VIKOR و AHP نیز استفاده گردد تا با مقایسه نتایج، از پایداری و دقت بالای اولویت‌بندی راهکارها اطمینان بیشتری حاصل شود.

پیامدهای عملی پژوهش

(۱) اجرای بازیافت پساب دیالیز می‌تواند بدون ایجاد اختلال در خدمات درمانی، مصرف آب بیمارستان‌ها را به‌طور چشمگیری کاهش دهد.

(۲) توجیه اقتصادی، مهم‌ترین عامل در تصمیم‌گیری مدیران بیمارستانی برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بازیافت آب است.

(۳) تدوین دستورالعمل‌های بومی و آموزش تخصصی کارکنان، نقش مهمی در بهره‌برداری ایمن و مؤثر از سامانه‌های بازیافت دارد.

(۴) مدل اولویت‌بندی مبتنی بر تاپسیس، چارچوبی قابل تکرار برای مدیریت پایدار منابع آب در مراکز درمانی کشور فراهم می‌سازد.

قدردانی‌ها

نگارنده مراتب سپاس و قدردانی خود را از تمامی کارشناسان، مدیران فنی بیمارستان‌ها، متخصصان بهداشت محیط، مهندسان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی و سایر خبرگانی که با اختصاص وقت و ارائه تجربیات ارزشمند خود در انجام این پژوهش همکاری داشتند، صمیمانه اعلام می‌دارد. همچنین از حمایت‌های دفتر تحقیقات و پژوهش شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی که زمینه انجام این مطالعه را فراهم نمودند، قدردانی می‌شود. بدون همراهی این عزیزان، دستیابی به نتایج حاصل از این تحقیق امکان‌پذیر نبود.

نیمه ساختاریافته با ۱۷ نفر از خبرگان حوزه آب و فاضلاب بیمارستانی صورت گرفته است. در فرآیند تحقیق، هیچ گونه اطلاعات شخصی، مداخله درمانی یا داده برداری از بیماران یا کارکنان عمومی بیمارستانها انجام نشده است. تمامی مشارکت کنندگان با رضایت آگاهانه و شفاهی در مصاحبه ها شرکت داشته اند و محرمانه بودن اطلاعات آنان رعایت شده است. با توجه به نوع مطالعه و بر اساس ضوابط کمیته ملی اخلاق در پژوهش های زیست پزشکی، دریافت کد اخلاق برای این تحقیق ضروری نبوده است.

تعارض منافع

این مقاله حاصل یک پژوهش مستقل و بدون تعارض منافع می باشد.

References

1. Hu CJ, Reilly M, Khan I, Hoel AW, Sturgeon C, Ho KJ. An Analysis of Water Used and Wasted at Operating Room (OR) Scrub Sinks and Call to Action for Reducing Water Waste. *Ann Surg.* 2024; 1-28. doi: 10.1097/SLA.0000000000006406
2. World Health Organization. Drinking-water. 2023. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water.
3. Unesco. Imminent risk of a global water crisis, warns the UN World Water Development Report 2023. 2024. www.unesco.org/en/articles/imminent-risk-global-water-crisis-warns-un-world-water-development-report-2023.
4. Hamidifar H. Water Crisis in Iran: Causes, Consequences, and Solutions. In: Izah SC, MC Ogwu, A Loukas, H Hamidifar, editors. *Water Crises and Sustainable Management in the Global South*. Singapore: Springer; 2024. doi: 10.1007/978-981-97-4966-9
5. Garvey MI, Holden E. Will we need water in the hospitals of the future? The role of water vs waterless systems – case for vs case against. *J Hosp Infect.* 2024; 153 :47-49. doi: 10.1016/j.jhin.2024.07.010
6. Borna News. Resource management will reduce costs and improve productivity in hospitals. 2018. <https://borna.news/fa/news/707810>.
7. Jahangiri A. Ranking of Consumption Management Strategies in Drinking Water Distribution Networks by Using Multiple Attribute Decision Making. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering.* 2019; 4(2): 17-26. doi: 10.22112/JWWSE.2019.159573.1125. (Persian)

مشارکت پدیدآوران

بدین وسیله اعلام می گردد که کلیه مراحل پژوهش شامل طراحی مطالعه، اجرای مراحل تحقیق، تحلیل داده ها، نگارش نسخه اولیه مقاله، تحلیل نتایج، تهیه نسخه نهایی و تأیید آن، به طور کامل توسط عباس جهانگیری انجام شده است.

منابع مالی

انجام این پژوهش بدون هیچ گونه حمایت مالی صورت گرفته شده است.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش، گردآوری داده ها از طریق بازدیدهای میدانی، مرور منابع علمی و انجام مصاحبه های

8. Chen H, Lin T, Yan X, Xu H. Elevated risk of haloacetonitrile formation during post-chlorination when applying sulfite/UV advanced reduction technology to eliminate bromate. *Sci Total Environ.* 2022; 806 (Pt 2): 150612. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150612
9. Vallée A. Green hospitals face to climate change: Between sobriety and resilience. *Heliyon.* 2024; 10(2): 1-6. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24769
10. Batista MV, Ulrich J, Costa L, Ribeiro LA. Multiple Primary Malignancies in Head and Neck Cancer: A University Hospital Experience Over a Five-Year Period. *Cureus.* 2021; 13(8): 1-8. doi: 10.7759/cureus.17349
11. Alao MA, Ayodele TR, Ogunjuyigbe ASO, Popoola OM. Multi-criteria decision based waste to energy technology selection using entropy-weighted TOPSIS technique: The case study of Lagos, Nigeria. *Energy.* 2020; 201: 1-14. doi: 10.1016/j.energy.2020.117675
12. Thaqi P, Ahmedi F. Planning decentralized wastewater treatment systems by comparing through TOPSIS. *Water Pract Technol.* 2024; 19(10): 3929-3940. doi: 10.2166/wpt.2024.250
13. Stefaniak K, Harnisz M, Męcik M, Korzeniewsk E. ARB inactivation, ARGs and antibiotics degradation in hospital wastewater. *J Hazard Mater.* 2025; 495: 138833. doi: 10.1016/j.jhazmat.2025.138833
14. Jahangiri A. Identification and Prioritization of Strategies for Removing Pharmaceutical Contaminants from Hospital Wastewater in Selected Hospitals of Markazi Province Using the Analytic

- Hierarchy Process (AHP). *Journal of Hospital*. 2025; 23(4): 395-406. (Persian).
15. Han F, Alkhawaji RN, Shafieezadeh MM. Evaluating sustainable water management strategies using TOPSIS and fuzzy TOPSIS methods. *Appl Water Sci*. 2024; 15(4): 1-13. doi: 10.1007/s13201-024-02336-7
 16. Das S, Radhakrishnan K. Multicriteria decision making model of wastewater reuse: a stakeholders' perspective in the context of India. *Desalination Water Treat*. 2019; 163: 17-25. doi: 10.5004/dwt.2019.24412
 17. Sucu S, Van Schaik MO, Esmeli R, Ouelhadj D, Holloway T, Williams JB, et al. A conceptual framework for a multi-criteria decision support tool to select technologies for resource recovery from urban wastewater. *J Environ Manage*. 2021; 300: 1-23. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113608
 18. Chakraborty S, Raut RD, Rofin TM, Chakraborty S. A comprehensive and systematic review of multi-criteria decision-making methods and applications in healthcare. *Healthc Anal*. 2023; 4: 1-23. doi: 10.1016/j.health.2023.100232
 19. Tarrass F, Benjelloun M, Piccoli GB. Hemodialysis water reuse within a circular economy approach. What can we add to current knowledge? A point of view. *J Nephrol*. 2024; 37(7): 1801-1805. doi: 10.1007/s40620-024-01989-6
 20. Mahdavi M, Mahvi AH, Salehi M, Sadani M, Biglari H, Tashauoei HR, et al. Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and ultrafiltration processes: case study in Saveh-Iran Hospital. *Desalination Water Treat*. 2020; 193: 274-283. doi: 10.5004/dwt.2020.25799
 21. Koenig KW. Rainwater harvesting: Vortex filters make cost savings at German hospital. *Filtration + Separation*. 2014; 51(1): 36-38. doi: 10.1016/S0015-1882(14)70035-7
 22. Fulton LV. A Simulation of Rainwater Harvesting Design and Demand-Side Controls for Large Hospitals. *Sustainability*. 2018; 10(5): 1-17. doi: 10.3390/su10051659
 23. Garg A. Water Supply and Drainage Works of the Hospital Building. In: *Monitoring Tools for Setting up the Hospital Project*. Singapore: Springer; 2023. 195-210. doi: 10.1007/978-981-99-6203-7_7
 24. U.S. Environmental Protection Agency. Hospital Installs Water-Efficient Laboratory and Medical Equipment. 2014. www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/ws-commercial-casestudy-provst-peter-hospital.pdf
 25. STERIS Knowledge Center. The Importance of Water Quality in Medical Device Processing. 2024. www.steris.com/healthcare/knowledge-center/sterile-processing/water-quality-medical-device-processing.
 26. Faezipour M, Ferreira S. Assessing Water Sustainability Related to Hospitals Using System Dynamics Modeling. *Procedia Comput Sci*. 2014; 36: 27-32. doi: 10.1016/j.procs.2014.09.025
 27. Blanky M, Sharaby Y, Rodríguez-Martínez S, Halpern M, Friedler E. Greywater reuse - Assessment of the health risk induced by *Legionella pneumophila*. *Water Res*. 2017; 125: 410-417. doi: 10.1016/j.watres.2017.08.068
 28. Arden S, Ma X. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. *Sci Total Environ*. 2018; 630: 587-599. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.218
 29. Khajvand M, Mostafazadeh AK, Drogui P, Tyagi RD. Management of greywater: environmental impact, treatment, resource recovery, water recycling, and decentralization. *Water Sci Technol*. 2022; 86(5): 909-937. doi: 10.2166/wst.2022.226
 30. Davood Abadi Farahani MH, Borghai SM, Vatanpour V. Recovery of cooling tower blowdown water for reuse: The investigation of different types of pretreatment prior nanofiltration and reverse osmosis. *J Water Process Eng*. 2016; 10: 188-199. doi: 10.1016/j.jwpe.2016.01.011
 31. United States Environmental Protection Agency (EPA). Guidance for Efficacy Testing of Antimicrobial Products Against Planktonic *Legionella pneumophila* in Cooling Tower Water. 2024. www.epa.gov/system/files/documents/2024-10/final-legionella-cooling-towers-guidance-08.27.24.pdf
 32. Cejudo CE, Pamintuan BC, Stoughton KL. Emerging Technologies Review: Water Reuse Systems for Cooling Tower Applications. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, Washington. 2023. www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-34788.pdf
 33. Nguyen MT, Allemann L, Ziemba C, Larive O, Morgenroth E, Julian TR. Controlling Bacterial Pathogens in Water for Reuse: Treatment Technologies for Water Recirculation in the Blue Diversion Autarky Toilet. *Front Environ Sci*. 2017; 5: 1-13. doi: 10.3389/fenvs.2017.00090
 34. Shahi SK, Gupta KP, Singh A, Janki S. Liquid Waste Management Issues in the States of Odisha, West Bengal, and Telangana: Investigating the Tip of the Iceberg. In: *Fuzzy Logic in Smart Sustainable Cities*. Jenny Stanford Publishing; 2025.
 35. Guidelines for Water Reuse and Recycling in Victorian Health Care Facilities. Melbourne; 2009. kh.aquaenergyexpo.com/wp-content/uploads/2022/10/Guidelines-for-Water-Reuse-and-Recycling-in-Victorian-Health-Care-Facilities.pdf